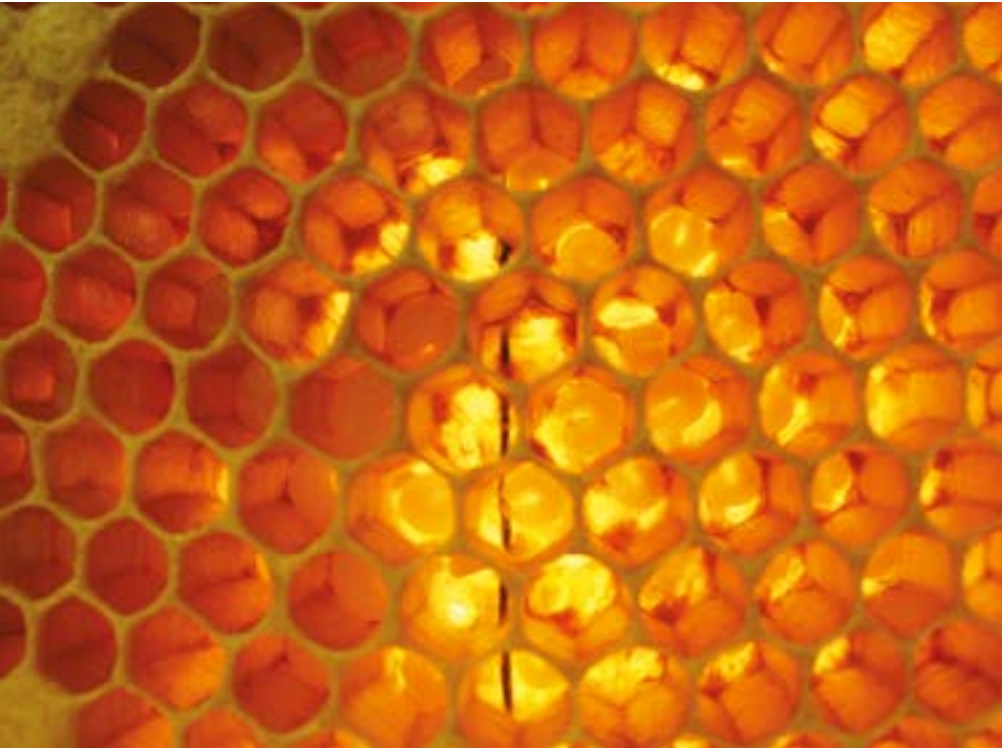


Le compas dans l'œil

La nature peut se révéler fascinante à plus d'un titre. On admire volontiers par exemple les beautés géométriques qu'elle recèle : fractales, cercles parfaits, spirales, hexagones... Les abeilles, reines de la construction et exploratrices de leur environnement, inscrivent leur empreinte dans le livre d'art géométrique de la nature. Voyons quelques exemples de ces petits calculs au sein de la ruche.



Un rayon de cire est constitué de deux faces de cellules ou alvéoles. Les abeilles commencent par construire le fond de la cellule. Le fond de chaque alvéole est constitué de trois losanges permettant un parfait emboîtement des cellules des deux faces du rayon. Les deux parallélogrammes, appelés aussi « rhombes », sont de taille identique. Si la forme hexagonale des cellules a été remarquée par Aristote dès le IV^e siècle avant J.-C., ce n'est qu'au XVIII^e que l'astronome Giacomo Filippo Maraldi rend public son calcul des angles des rhombes constituant le fond des alvéoles d'abeilles : $109^{\circ} 28'$ et $70^{\circ} 32'$. Cela correspond à l'utilisation d'un minimum de cire par les abeilles. La règle de l'économie est systématiquement appliquée. Les abeilles cirières bâtissent des cellules remarquablement solides malgré des parois fines (environ 0,073 mm) en respectant les angles nécessaires à la régularité de la construction et au parfait ajustement de l'édifice. Les cellules ne sont pas parfaitement parallèles au sol mais un angle de levée de 13° est respecté pour éviter que le miel ne s'écoule.



Economie et physique des matériaux

Dans leur travail de bâtisseuses, les abeilles utilisent les lois de la thermodynamique et appliquent la règle de l'économie au matériau de construction qu'elles utilisent : la cire. Les abeilles ne sont pas directement à l'origine de la forme hexagonale des cellules de leur nid. Elles ne font qu'utiliser les principes physico-chimiques du matériau sécrété par les glandes cirières et en particulier sa capacité à se déformer et à être malléable avec un peu de chaleur.

Après avoir bâti le fond des alvéoles, les abeilles bâtissent le corps des cellules. Une fois terminées, les alvéoles forment un ensemble d'hexagones réguliers. Seuls trois polygones réguliers peuvent être utilisés pour paver un plan euclidien sans laisser d'espace : le triangle rectangle, le carré et l'hexagone. Or, l'hexagone est la forme qui est la plus proche du cercle (c'est plus précisément le polygone avec la plus grande superficie correspondant à l'intérieur d'un cercle), forme parfaitement adaptée au développement des larves et des nymphes. Selon une équipe de chercheurs anglo-chinois (1), le cercle serait



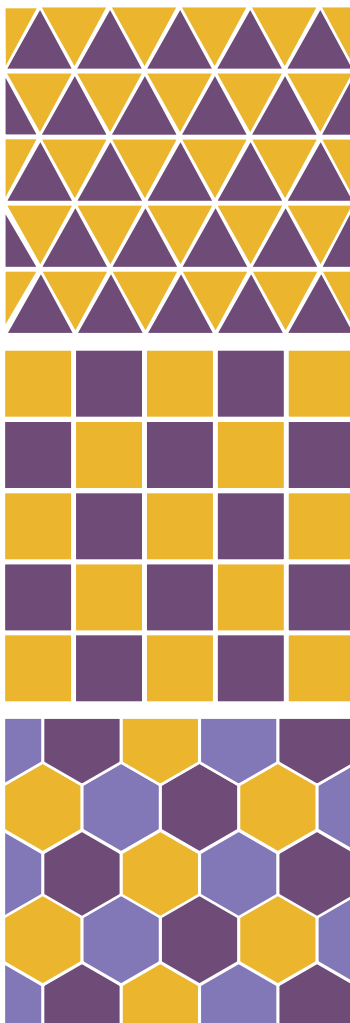
Karihaloo BL, Zhang K, Wang J, Honeybee combs : how the circular cells transform into rounded hexagons, *Journal of the Royal Society. Interface*, vol. 10, no 86, 6 septembre 2013.

la forme de la construction initiale. Elle deviendrait hexagone du fait des propriétés visco-élastiques de la cire, bâtie dans le prolongement de la triple jonction à la base des cellules (rhombes).

Les espaces entre les cylindres de cire se rétracteraient naturellement en refroidissant pour former des hexagones. Autrement dit, la forme des rayons de cire se construit elle-même, les lois de la physique venant achever le travail des abeilles cirières. C'est un peu ce qu'il se passe pour des bulles de savon compressées dans un espace restreint. La tension modifie les bulles rondes en un ensemble de bulles hexagonales.

L'hexagone offre le meilleur rapport volume/surface de construction, autrement dit le volume de stockage de la nourriture est optimum tandis que la masse de matériau utilisé est minimum. Grâce aux six cloisons communes à chaque hexagone, une abeille peut parfaitement réchauffer six cellules de couvain à la fois en se plaçant dans une cellule centrale. Autre avantage du pavage hexagonal, il permet la transmission de micro-vibrations, c'est-à-dire la diffusion d'informations au sein de la ruche via les mouvements des ouvrières, comme par exemple les danses effectuées par les butineuses pour renseigner leurs consœurs sur la direction et la distance des sources de nourriture.

Le soleil est le point de repère de la boussole des abeilles. La direction est toujours indiquée par un angle formé par l'emplacement de la source de nourriture par rapport à la position du soleil que l'abeille capte très bien grâce à ses ocelles. La distance est fournie par le nombre et la vitesse de tours effectués par l'abeille sur elle-même. La qualité de la source de nourriture est indiquée par la vitesse de retour de l'abeille vers le point de départ de la danse, quand elle effectue les demi-cercles sans frétiller. Les butineuses traduisent ces informations lorsqu'elles sortent de la ruche. Elles leur servent de feuille de route basée sur la boussole solaire.



Danseuses étoiles

Les abeilles ont un sens de l'orientation incomparable. Cela leur permet de retrouver leur nid mais aussi de transmettre des informations à leurs sœurs dans l'obscurité de la ruche. Elles informent sur les sites de butinage intéressants à travers une danse découverte par Karl von Frisch. Les motifs de cette danse sont compliqués, faits de mouvements abdominaux latéraux et d'émission de vibrations. Un son particulier est produit avec les ailes. Parallèlement, l'odeur de la source de nourriture concernée est diffusée dans la ruche. Plus le nectar est abondant, plus la danse est vive et longue.

Si la source de nourriture se situe à moins de 50 mètres, les abeilles effectuent une danse circulaire de plusieurs tours rapides sur elles-mêmes. Les émissions olfactives suffisent pour que les autres butineuses puissent retrouver la source de nectar dans un environnement proche. Il n'y a donc aucune information liée à l'emplacement de la nourriture. Les ressources situées à plus de 50 mètres nécessitent des figures en forme de 8 qui renseignent sur la distance et la direction du site d'approvisionnement en nourriture.

Quand une abeille chargée de nectar retourne à la ruche, elle acquiert des informations supplémentaires concernant la quantité de nectar récoltée par la colonie et sa capacité à le traiter (elle note le temps consacré à la recherche pour trouver une abeille qui la décharge et stocke la nourriture dans les alvéoles) (4). Ces informations ont un impact sur la variation du nombre d'abeilles chargées de délester les butineuses. Cela sous-entend que les besoins en « manutention » sont ajustés en fonction des apports de nourriture.

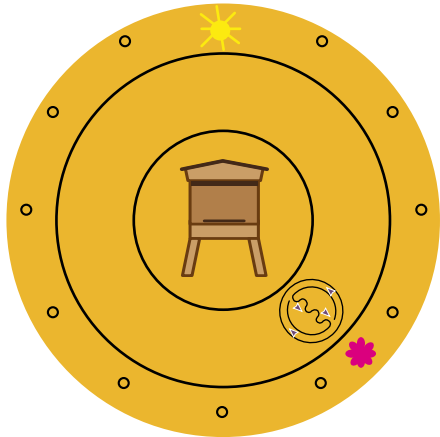
Estimer le volume d'une ruche

Au moment de l'essaimage, alors qu'elles doivent choisir leur futur site de nidification, les éclaireuses doivent être en mesure d'évaluer le volume des cavités d'accueil (arbres creux, trous dans des murs). Une des hypothèses est que les éclaireuses marchent dans la cavité pour en évaluer le volume. Thomas Seeley (2) a découvert qu'elles ont deux tendances : soit elles procèdent à une exploration progressive depuis les zones proches de l'entrée pour aller vers les profondeurs de la cavité, soit elles traversent les différentes zones de la cavité en plusieurs inspections jusqu'à couvrir toutes les surfaces. Deux conditions sont nécessaires à la perception

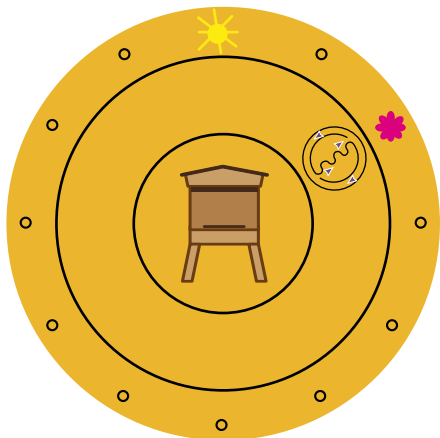


de plan des lieux. Les informations qu'elles collectent sont ensuite partagées : hauteur à partir du sol, taille et orientation de l'entrée, surface de la cavité. Les informations concernant les différents sites d'accueil repérés sont comparées avant la prise de décision et l'installation de l'essaim.

Cartes mentales et géométrie du paysage



Maksim – Indication d'une source de nectar située à 150° à droite par rapport à la direction du soleil



Maksim – Indication d'une source de nectar située à 60° à droite par rapport à la direction du soleil

du volume de la cavité. Soit la cavité est assez éclairée pour permettre une analyse visuelle globale des lieux, soit elle peut être complètement traversée et explorée en arpentant les parois. Les abeilles ne calculent pas le volume précis de la cavité mais l'évaluent grâce à une exploration visuelle ou physique. Elles font une sorte

Les abeilles récupèrent les informations au sujet de leur emplacement et de l'emplacement de leur objectif (source de nourriture) via les repères géométriques qui sont intégrés dans le paysage. Des vols de repérage sont effectués. Les abeilles disposent ainsi d'une carte interne mémorisée qu'elles utilisent avec le soleil comme boussole. Le professeur Menzel (3) parle d'une carte cognitive, c'est-à-dire une mémoire active, utilisée par les abeilles pour naviguer et se repérer. Les liens spatio-temporels des paysages survolés sont conservés dans la carte mentale de telle sorte que les comportements de routine, les chemins prévus et planifiés, soient aisés : orientation, estimation de la distance, intégration du chemin à parcourir, sélection des éléments marquants dans le paysage. C'est une action de mémorisation et pas un mode de représentation sensorielle. La carte mentale est caractérisée par la représentation relationnelle des éléments du paysage : déplacements et situations par rapport aux repères géométriques, vecteurs directionnels. Elle inclut aussi les lieux qui ont un sens pour l'animal (sources de nectar, obstacles, nid). Les éléments du paysage en dehors de la zone de prélèvements habituels ne sont pas mémorisés.

Les abeilles sont des utilisatrices intuitives d'outils de calcul qu'elles mettent en pratique dans la construction de leur nid, le repérage dans l'espace, la communication et l'évaluation de leurs besoins. Les scientifiques ne cessent de découvrir les subtilités de ce qui apparaît comme des miracles biologiques dans une société complexe. Des modélisations informatiques des comportements architecturaux, géométriques et logistiques des abeilles inspirent bon nombre d'activités humaines.

Références :

H. Randall Hepburn, *Honeybees and Wax: An Experimental Natural History*, Springer-Verlag, 1986.

Maraldi, *Observations sur les abeilles*, Mémoire de l'Académie des Sciences, 1712.

Lhuillier, *Mémoire sur le minimum de cire des alvéoles des abeilles et en particulier sur un minimum minimum relatif à cette matière*, Nouveaux Mémoires de l'Académie Royale de Berlin, 1781.

(1) Karihaloo BL, Zhang K, Wang J, *Honeybee combs: how the circular cells transform into rounded hexagons*, Journal of the Royal Society. Interface, vol.10, no86, 6 septembre 2013. <http://rsif.royalsocietypublishing.org/content/10/86/20130299#sec-2>

Thomas D. Seeley, *Honeybee ecology. A Study of adaptation in social life*, Princeton University Press, 1985.

(2) Seeley, T. (1977), *Measurement of Nest Cavity Volume by the Honey Bee (*Apis mellifera*)*, Behavioral Ecology and Sociobiology, 2(2), 201-227. <http://www.jstor.org/stable/4599130>

Franks, N. R. & Dornhaus, A. (2003), *How might individual honeybees measure massive volumes?*, Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences, 270 (Suppl 2), S181-S182. <http://doi.org/10.1098/rsbl.2003.0047>

(3) Menzel R., Konstantin Lehmann K., Gisela Manz G., *Vector integration and novel shortcutting in honeybee navigation*, Apidologie, 2012, Volume 43, Number 3. <http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs13592-012-0127-z#/page-1>

Menzel R., *The memory structure of navigation in honeybees*, Journal of Comparative Physiology A: Volume 201, Issue 6 (2015), Page 547-561. SpringerLink: <http://link.springer.com/article/10.1007/s00359-015-0987-6>

(4) Seeley, Thomas D., and Craig A. Tovey, *Why search time to find a food-storer bee accurately indicates the relative rates of nectar collecting and nectar processing in honey bee colonies*, Animal Behaviour 47.2 (1994): 311-316. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S000334728471044X>

Mark L. Winston, *The Biology of the Honey Bee*, Harvard University Press, 1991.

Jürgen Tautz, *L'étonnante abeille*, De Boeck, 2009.

MOTS CLÉS :

colonie, géométrie, comportement

RÉSUMÉ :

synthèse rappelant les principes de géométrie appliqués à la vie de la colonie d'abeilles